

“Novos Cenários para o Eletromagnetismo”

(Pesquisador proponente: José Abdalla Helayël-Neto)

Palavras-chave:

Eletrodinâmicas pós-Maxwellianas
Relações de dispersão modificadas
Portais eletromagnéticos para a gravidade quântica
Novas categorias de fótons
Fótons, fotinos, áxions e fótons escuros.

O chamado limite de GZK estabelece que raios cósmicos ultra-energéticos, provenientes de regiões extra-galácticas, não deveriam atingir e ser observados na Terra, por argumentos fundamentados na Teoria da Relatividade Restrita. Entretanto, observações astrofísicas recentes confirmam a detecção destes objetos. Esta constatação abre uma ampla discussão sobre a plausibilidade de se propor possíveis extensões da Relatividade Especial.

Em particular, toda uma linha de trabalhos iniciada por G. Amelino-Camelia, J. Magueijo e L. Smolin culminou com a chamada Doubly Special Relativity (DSR), uma extensão da Relatividade Restrita que incorpora na sua estrutura dois invariantes (dois absolutos): a velocidade da luz no vácuo, c , e uma escala de energia, a energia de Planck, E_{Pl} . A DSR permite introduzir modificações na Cinemática Relativística para justificar o porquê da violação do limite de GZK na observação de raios cósmicos ultra-energéticos na Terra.

Paralelamente, uma ampla área de investigação em Teoria Quântica de Campos vem sendo proposta e muito debatida, onde se introduzem vetores e tensores de fundo – anisotropias espaço-temporais – responsáveis pela violação da simetria de Lorentz, o que traz imediatas mudanças nas equações de Maxwell da Eletrodinâmica, e introduz resultados teóricos, como a birrefringência e o dicroísmo do vácuo quântico e a anisotropia da radiação de fundo. A partir de mecanismos intrínsecos ligados a modos tensoriais do setor bosônico de cordas fundamentais, ocorrendo a energias extremas, em uma escala intermediária entre a Grande-Unificação e a escala de Planck, efeitos de violação da simetria de Lorentz são induzidos e podem ser comunicados a energias acessíveis aos experimentos em laboratórios e aceleradores. Por outro lado, condensação de férmions em cenários dominados pela supersimetria pode também induzir anisotropias que assinalam

pequeníssimos desvios da simetria relativística. Chega-se, assim, a interessantes extensões de fenômenos eletromagnéticos com propriedades físicas muito peculiares do vácuo, que pode exibir fenômenos como birrefringência, dicroísmo e reintroduz o debatido fenômeno da “luz cansada” (tired light).

Propomo-nos, centralmente, a realizar um estudo das propriedades físicas de uma ampla categoria de modelos eletromagnéticos além-Maxwell, detendo-nos, sobretudo, na investigação detalhada de uma vasta classe de relações de dispersão fotônicas, que podem revelar fenômenos detectáveis e, assim, orientar a reconstrução de modelos que contenham nova física não incorporada no Modelo-Padrão das Interações Fundamentais.

Dentro deste cenário, um segundo objetivo deste Projeto é apresentar um levantamento de recentes extensões não-Maxwellianas do Eletromagnetismo, originadas de alguma Física mais fundamental, além do Modelo-Padrão, que podem estar levando em conta aspectos da gravitação quântica, da supersimetria ou das dimensionalidades, mais baixas (2D e 3D) ou mesmo mais altas (5D). Contabilizamos atualmente 60 extensões pós-Maxwellianas, que podem ser agrupadas em 4 categorias: extensões nos limites do Modelo-Padrão, extensões além do Modelo-Padrão, extensões não-lineares e extensões em baixas e mais altas dimensionalidades. Com a disponibilização dos mais recentes e futuros LASERs com potências nas faixas dos PeV e EeV, fica mais próxima a quebra do vácuo, abrindo-se um caminho para a investigação de sua estrutura.

O material a ser elaborado como resultado do Projeto poderá se constituir em notas-de-curso a serem introduzidas como textos de apoio em disciplinas de cursos de Graduação, tendo potencial também para culminar com um trabalho original a ser enviado para publicação em periódico, já que as questões de pesquisa acima elencadas são objeto de estudos em andamento em Dissertações, Teses e em projetos de pós-doutorandos atuando em nosso Grupo de Pesquisa “Teoria de Campos e Partículas Elementares”.

Como referência, seguem abaixo os links de um ciclo de palestras intitulado “**Novas Tendências do Eletromagnetismo**”, que podem oferecer uma visão panorâmica do que vem surgindo na literatura atual no âmbito das extensões não-Maxwellianas da teoria eletromagnética.

“Novas Tendências do Eletromagnetismo”

1. “O período clássico”

Parte 1:

https://www.youtube.com/watch?v=5cYxqHS_B-M

Parte 2:

<https://www.youtube.com/watch?v=DmFzyf1uVCg>

2. “O encontro do Eletromagnetismo com a Mecânica Quântica”

<https://youtu.be/9bYuiNIRxzM>

3. “O Encontro do Eletromagnetismo com o Modelo-Padrão”

<https://www.youtube.com/watch?v=pTvk6yXrYjY>

4. “O reencontro do Eletromagnetismo com a não-linearidade e novas dimensionalidades”

<https://youtu.be/48hqJdKfDWw>

Literatura de Referência Inicial

1. R. Aloisio, P. Blasi, P. L. Ghia and A. F. Grillo,
“Probing the structure of space-time with cosmic rays”
Phys. Rev. **D62** (2000) 053010.
2. J. Magueijo and L. Smolin,
“Lorentz invariance with an invariant energy scale”
Physical Review Letters. **88** (2001) 190403;

G. Amelino-Camelia
“Doubly Special Relativity”
Nature **418** (6893) (2002) 34.
3. T. Jacobson, S. Liberati and D. Mattingly
“Threshold effects and Planck scale Lorentz violation: combined
constraints from high energy astrophysics”
Phys. Rev. **D67** (2003) 124011;

A. P. Baêta Scarpelli, H. Belich and J. A. Helayël-Neto
“Aspects of causality and unitarity and comments on vortex-like
configurations in an Abelian model with a Lorentz-breaking term”
Phys. Rev. **D67** (2003) 085021.

4. R. C. Myers and M. Pospelov
 “Ultraviolet modifications of dispersion relations in effective field theories”
 Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 211601.

5. S. Liberati
 “Tests of Lorentz invariance: a 2013 update”
 Class. Quantum Grav. **30** (2013) 133001;

 H. Belich, L. D. Bernald, P. Gaete and J. A. Helayël-Neto
 “The photino sector and a confining potential in a supersymmetric
 Lorentz symmetry-violating model.”
 Eur. Phys. J. **C73** (2013) 2632.

6. A. K. Canguy and M. K. Jaisval
 “Lorentz-symmetry violating low energy dispersion relations from a
 dimension-five photon scalar mixing operator”
 Phys. Rev. **D90** (2014) 026002.

7. F. W. Stecker
 “Testing Lorentz symmetry using high-energy Astrophysics observations”
 Symmetry **9** (2017) 201.

8. M. Reece
 “Photon masses in the landscape and swampland”
 arXiv: 1808.09966 [hep – th].

9. L. Bonetti, L. R. dos Santos Filho, J. A. Helayël-Neto and A. Spallicci
 “Photon sector analysis of Super- and Lorentz-symmetry breaking:
 effective photon, masses, bi-refrindexence and dissipation”
 Eur. Phys. J. **C78** (2018) 811.

10. J.-J. Wei and X.-F. Wu
 “Testing fundamental Physics with astrophysical transients”
 Front. Phys. **16(4)** (2021) 44300.

11. A. D. A. M. Spallicci, G. Sarracini, O. Randriamboarison and
 J. A. Helayël-Neto
 “Testing the Ampère-Maxwell law on the photon mass and Lorentz-Poincaré-
 symmetry violation with MMS multi-spacecraft data”
 Eur. Phys. J. Plus **139** (2024) 6, 551. arXiv:2205.02487 [hep-ph].

12. J. P. da Silva Melo e J. A. Helayël-Neto
“Do éter questionado por Dirac ao Modelo-Padrão: a diacronia da violação da simetria de Lorentz”
Rev. Bras. Ens. Fís. **45** (2023) e20220211.
13. G. L. L. Weitershan Levy
“The photon and the granularity of space-time”
MSc Dissertation, CBPF, 2025.
14. P. A. Lima Mourão
“Ondas eletromagnéticas e fótons em cenários de Eletrodinâmicas pós-Maxwellianas”
Tese de Doutorado, CBPF, 2026.